



ZAVRŠNI RAD

Igor Jukić

Zagreb, 2010.



ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Doc. dr. sc. Damir Dović

Igor Jukić

Zagreb, 2010.

Sažetak:

Rad se temelji na proračunu toplinskog sunčevog sustava prema normi HRN EN 15316-4-3. Na početku je objašnjena energetska međuovisnost sustava i građevine, iz čega su proizašle proračunske metode. Zatim je dan općeniti opis „B metode“ iz norme HRN EN 15316-4-3 koja je kasnije poslužila kao matrica za izradu proračunskog algoritma kojim se dobivaju toplinske karakteristike sunčevog sustava za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode, ovisno o ulaznim podacima sustava i klimatskih uvjeta prostora za koje se radi proračun. Na kraju je još dan i numerički primjer izračuna toplinskih karakteristika za Zagreb, posebno za običnu i posebno za niskoenergetsku građevinu, sa vrlo zanimljivim rezultatima.

Sadržaj

Sažetak.....	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA.....	4
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA	6
IZJAVA I ZAHVALA	8
1. UVOD.....	9
2. OSNOVNI PRINCIP METODA [3]	10
2.1 Utjecaj toplinskih potreba građevine na performanse toplinskog sunčanog sustava.....	10
2.2 Utjecaj toplinskog sunčevog sustava na energetske performanse građevine ..	11
2.3 Djelovanje toplinskog sunčevog sustava	11
2.4 Toplinska bilanca proizvodnje topline pomoćnog sustava, uključujući regulaciju 12	
2.5 Pomoćna energija.....	13
2.6 Nadoknadivost, iskorišteni i neiskorišteni toplinski gubici	13
2.7 Kalkulacijski periodi	13
3. PRORAČUN TOPLINSKOG/TOPLOVODNOG SUNČANOG SUSTAVA [3]	14
3.1 Procedure proračunavanja	14
3.2 Metoda B – koristeći podatke komponenti (rezultati testova komponenti)	15
4. ALGORITAM	16
4.1 Općenito i početni parametri.....	17
4.2 Određivanje potrošnje toplinske energije.....	21
4.3 Određivanje faktora X i Y te dobitka energije sunčanog sustava.....	24
4.4 Određivanje potrošnje pomoćne energije	27
4.5 Određivanje toplinskih gubitaka sunčevog toplovodnog sustava.....	28
4.6 Određivanje iskoristivosti gubitaka	30
4.7 Određivanje redukcije trajanja rada nesolarnog generatora topline	32
4.7.1 Smanjenje potrošnje pomoćne energije pumpe	32
4.7.2 Smanjenje „stand-by“ toplinskih gubitaka pomoćnog generatora topline ...	33
4.8 Proračunski godišnji rezultati te određivanje perioda povrata investicije	35
5. NUMERIČKI PRIMJER PRORAČUNA ALGORITMOM	37
5.1 Obična gradnja, Zagreb.....	38
5.1.1 Određivanje optimalne površine kolektora	46
5.2 Niskoenergetska gradnja, Zagreb	50
6. ZAKLJUČAK.....	53
7. LITERATURA	54

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Toplinska bilanca za sunčane sustave i sustave predgrijanja (* solar-plus sustave) [3].....	12
Slika 5.1 Algoritam, Početni parametri, Zagreb obična gradnja	38
Slika 5.2 Algoritam, Određivanje toplinskih potreba, Zagreb obična gradnja.....	39
Slika 5.3 Algoritam, Određivanje faktora X i Y te dobitka energije sunčanog sustava, Zagreb obična gradnja.....	40
Slika 5.4 Algoritam, Određivanje potrošnje pomoćne energije, Zagreb obična gradnja.....	41
Slika 5.5 Algoritam, Određivanje toplinskih gubitaka sunčanog sustava, Zagreb obična gradnja	42
Slika 5.6 Algoritam, Određivanje iskoristivosti gubitaka, Zagreb obična gradnja	43
Slika 5.7 Algoritam, Određivanje redukcije trajanja rada nesolarnog generatora topline, Zagreb obična gradnja.....	44
Slika 5.8 Algoritam, Godišnji ukupni rezultati i isplativost, Zagreb obična gradnja.....	45
Slika 5.9 Grafički prikaz mjesečnih energetske potreba i sunčanog dobitka za PTV, Zagreb, obična gradnja, 14m ² -200l	48
Slika 5.10 Grafički prikaz mjesečnih energetske potreba i sunčanog dobitka za grijanje, Zagreb, obična gradnja, 14m ² -200l	48
Slika 5.11 Udio godišnjeg energetskeg dobitka sunčanog sustava od ukupnih godišnjih energetske potreba, Zagreb, obična gradnja, 14m ² -200l.....	49
Slika 5.12 Grafički prikaz mjesečnih energetske potreba i sunčanog dobitka za PTV, Zagreb, niskoenergetska gradnja, 8m ² -200l.....	51
Slika 5.13 Grafički prikaz mjesečnih energetske potreba i sunčanog dobitka za grijanje, Zagreb, niskoenergetska gradnja, 8m ² -200l.....	51
Slika 5.14 Udio godišnjeg energetskeg dobitka sunčanog sustava od ukupnih godišnjih energetske potreba, Zagreb, niskoenergetska gradnja, 8m ² -200l	52

POPIS TABLICA

Tablica 4.1 Početni parametri	17
Tablica 4.2 Mjesečni klimatski podaci [3].....	19
Tablica 4.3 Referentna temperatura za PTV i razlika u temperaturi	20
Tablica 4.4 Toplinska energija potrebna za PTV i grijanje	21
Tablica 4.5 Određivanje broja grijanih „stupanj-dana“	22
Tablica 4.6 Mjesečne toplinske potrebe PTV i grijanja, te udjeli P_W i P_H [3]	22
Tablica 4.7 Vrsta sustava i korelacijski faktori	24
Tablica 4.8 Ovisnost korelacijskih faktora o vrsti sustava [3].....	24
Tablica 4.9 Faktori X,Y i toplinski dobitak za PTV [3]	25
Tablica 4.10 Faktori X,Y i toplinski dobitak za grijanje [3].....	25
Tablica 4.11 Snaga i trajanje rada pumpe	27
Tablica 4.12 Mjesečni rad i potrošnja energije pumpe [3].....	27
Tablica 4.13 Ukupni koeficijent gubitka i postavne temperature	28
Tablica 4.14 Smještaj spremnika i toplinska izolacija cjevovoda	28
Tablica 4.15 Mjesečni i ukupni toplinski gubici [3]	30
Tablica 4.16 Iskoristivost gubitaka pumpe i gubitaka sustava	30
Tablica 4.17 Iskoristivost mjesečnih i ukupnih godišnjih toplinskih gubitaka [3].....	31
Tablica 4.18 Karakteristike konvencionalnog sustava za grijanje i distribuciju	32
Tablica 4.19 Mjesečni nominalni rad pumpe, solarni udio i nominalna potrošnja pomoćne energije nesolarnog sustava [3]	33
Tablica 4.20 Mjesečni nominalni rad toplinskog generatora, te mjesečni iznosi nominalnih i reduciranih gubitaka topline.....	33
Tablica 4.21 Ukupne godišnje uštede energije redukcijom rada toplinskog pomoćnog generatora	34
Tablica 4.22 Proračunski godišnji rezultati.....	35
Tablica 4.23 Financijski podaci o investiciji.....	35
Tablica 4.24 Određivanje perioda povrata investicije	36
Tablica 5.1 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram električne energije kao alternativnog energenta, za Zagreb, obična gradnja.....	46
Tablica 5.2 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram plina kao alternativnog energenta, za Zagreb, obična gradnja	46
Tablica 5.3 Ovisnost cijene instalacije (u kunama) o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika	47

Tablica 5.4 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram električne energije kao alternativnog energenta, Zagreb, niskoenergetska gradnja	50
Tablica 5.5 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram plina kao alternativnog energenta, Zagreb, niskoenergetska gradnja	50
Tablica 5.6 Proračunski godišnji rezultati, 10m ² -200l, Zagreb, niskoenergetska gradnja	52

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

A	- površina kolektora	m ²
a ₁	- koeficijent gubitka topline sunčevih kolektora	W/m ² K
a ₂	- temperaturna zavisnost koeficijenta gubitka topline	W/m ² K
a,b,c,d,e,f	- korelacijski faktori	-
E	- insolacija (ozračenje) na nagnutoj površini	kWh/m ²
f _{aux}	- udio volumena spremnika za pomoćno grijanje	-
f	- sunčani udio	%
f _{st}	- korekcijski faktor spremnika	-
I	- insolacija (zračenje) na površinu kolektora	W/m ²
IAM	- modifikator upadnog kuta kolektora	-
P	- snaga	W
Q	- iznos toplinske energije	kWh
t	- vrijeme, period	sati
U	- koeficijent gubitka topline	W/m ² K
V	- volumen	litara
W	- pomoćna (električna) energija	kWh
X,Y	- bezdimenzijski faktori	-
ΔT	- razlika referentne temperature	K
θ _a	- prosječna ambijentalna temperatura zraka za zadani period	°C
θ _{cw}	- temperatura vodovodne vode	°C
θ _e	- prosječna vanjska temperatura zraka za zadani period	°C
η	- faktor korisnosti	-
a	- zrak (air)	
an	- godišnji (annual)	
aux	- električni, pomoćni (auxiliary)	
avg	- prosječni (average)	
bu	- pomoćni (back up)	
cw	- hladna voda (cold water)	
dis	- distribucija (distribution)	
e	- vanjski (external)	

H	- grijanje prostora (space heating)
HDD	- stupanj-dan grijanja (heating degree day)
in	- ulaz u sustav (input to system)
int	- unutarnji (internal)
loop	- petlja kolektora (collector loop)
ls	- gubici (losses)
m	- mjesečni (monthly)
nom	- nominalni (nominal)
nrbl	- neiskoristivi (non recoverable)
nrvd	- neiskorišteni (non recovered)
out	- izlaz iz sustava (output from system)
p	- pumpa (pump)
PTV	- potrošna topla voda
rbl	- iskoristivi (recoverable)
ref	- referenca (reference)
set point	- postavna točka/temp.
sol	- sunčevi (solar)
st	- spremnik (storage)
th	- toplinski (thermal)
tot	- ukupni (total)
us	- upotreba (use)
W	- topla voda (domestic hot water)
y	- godina, godišnje (year)

IZJAVA I ZAHVALA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Zahvaljujem se svom mentoru, dr. sc. Damiru Doviću na pruženoj pomoći i korisnim savjetima prilikom izrade ovog rada.

1. UVOD

„We are like tenant farmers chopping down the fence around our house for fuel when we should be using Nature's inexhaustible sources of energy — sun, wind and tide. ... I'd put my money on the sun and solar energy. What a source of power! I hope we don't have to wait until oil and coal run out before we tackle that.“ (Thomas Edison, 1931) [1]

Ukupna sunčeva energija apsorbirana u Zemljinoj atmosferi, oceanima i kopnenim masama je otprilike 3,850,000 eksadžula (EJ) godišnje. Godine 2002., ovo je u jednom satu dalo više energije nego što je čitavo čovječanstvo potrošilo kroz cijelu godinu. Fotosinteza uhvati otprilike 3,000 EJ godišnje u biomasu. Neizmjereno velika količina sunčeve energije koja dosegne Zemljinu površinu kroz jednu godinu je dvostruko veća od sveukupne energije koju će čovječanstvo ikada zadobiti iz svih neobnovljivih izvora ugljena, nafte, prirodnog plina i iskopanog urana zajedno. [2]

Sunčevi kolektori služe da se dio te sunčeve energije „uhvati“ i iskoristi ovisno o željama i potrebama korisnika. Da bi se mogla odrediti iskoristivost i isplativost nekog sunčanog sustava bitno je znati kako će se taj sunčani sustav ponašati na određenoj lokaciji i s obzirom na svoje karakteristike. Pri tome su od velike pomoći proračunske metode u normi HRN EN 15316-4-3.

Norma HRN EN 15316-4-3 predstavlja metode za izračunavanje toplinskog sunčanog sustava, ulaznih podataka toplinskog sunčanog sustava za grijanje i/ili pripremu potrošne tople vode, toplinskih gubitaka i potrošnju pomoćne energije. Proračun se temelji na karakteristikama proizvoda danih u proizvodnim standardima i u drugim karakteristikama, potrebnim za ocjenjivanje performansi proizvoda uključenih u sustav. [3]

2. OSNOVNI PRINCIP METODA [3]

2.1 Utjecaj toplinskih potreba građevine na performanse toplinskog sunčanog sustava

Učinkovitost termalnog sunčanog sustava ovisi o toplinskoj energiji primijenjenoj na sustav. Toplinska energija primijenjena na toplinski sunčani sustav jest potrebna toplinska energija građevine, uključujući toplinske gubitke emisijskih sustava (emiteri) i toplinske gubitke distribucijskih sustava (pumpe i cijevi). Općenito vrijedi, što je veća ukupna toplinska energija primijenjena na toplinski sunčani sustav, to je veći dobitak sustava. Prema tome, prije određivanja dobitka sustava potrebno je znati energijske potrebe primijenjene na toplinski sunčani sustav.

Primjena energije potrebne za grijanje prostora:

- potrebe za grijanjem prostora (vidi EN ISO 13790);
- toplinski gubici emisije grijanja (vidi EN 15316-2-1);
- toplinski gubici distribucije grijanja (vidi EN 15316-2-3).

Primjena energije potrebne za pripremu potrošne tople vode:

- energija potrebna za pripremu potrošne tople vode, uključivši emisijske gubitke (vidi prEN 15316-3-1);
- toplinski gubici distribucije PTV (vidi prEN 15316-3-2).

2.2 Utjecaj toplinskog sunčanog sustava na energetske performanse građevine

Utjecaj sustava na energetske performanse građevine uključuje:

- utjecaj toplinskog dobitka sustava na distribucijski sustav (za grijanje i PTV), čime se reducira potreba građevine za korištenjem druge (konvencionalno proizvedene) topline;
- nadoknadbive gubitke sustava upotrijebljene za grijanje prostora, smanjivši tako potrebe građevine za grijanje prostora;
- električnu energiju potrebnu za sustav, čime se povećava potrošnja električne energija građevine;
- redukciju trajanja rada konvencionalnih generatora topline. U nekim slučajevima on se može isključiti tokom ljeta, čime se smanjuju “stand-by” toplinski gubici i potrošnja pomoćne električne energije.

2.3 Djelovanje toplinskog sunčanog sustava

Performanse toplinskog sunčanog sustava određene su sljedećim parametrima:

- karakteristike proizvoda u skladu sa proizvodnim standardima: indikatori performansi sustava (dodatna godišnja energija, udio sunčeve i godišnje pomoćne energije) ili parametri kolektora (površina kolektora, nulti koeficijent/faktor iskoristivosti, koeficijenti gubitaka topline itd.);
- parametri solarnog spremnika (vrsta spremnika/cisterne, kapacitet itd.);
- toplinski gubici petlje kolektora i toplinski gubici distribucije između spremnika i pomoćnog grijača (udaljenost, izolacija, korisnost itd.);
- regulacija sustava (temperaturna razlika, postavne temperature itd.);
- klimatski uvjeti (solarna insolacija, temperature zraka itd.);
- pomoćna energija pumpe sunčevog sustava i regulacijskih jedinica;
- upotreba topline distribucijskog sustava za grijanje prostora;
- upotreba topline distribucijskog sustava za PTV (ili sunčani kombinirani sustav).

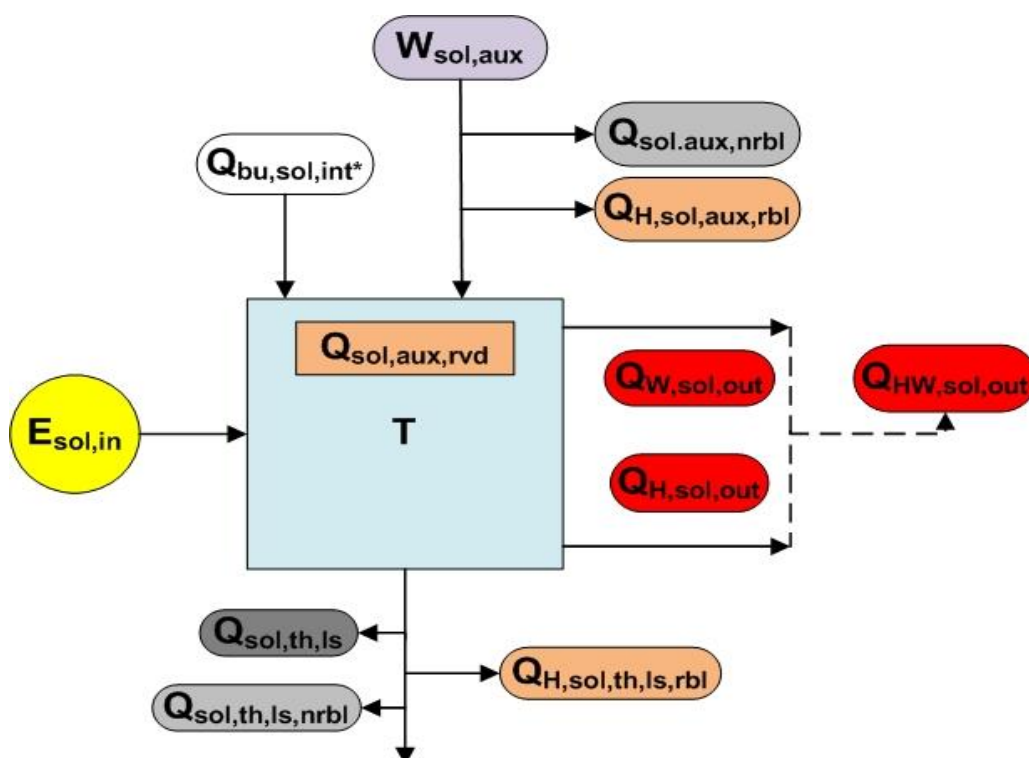
2.4 Toplinska bilanca proizvodnje topline pomoćnog sustava, uključujući regulaciju

S obzirom na uvažavanje općenite strukture proračuna gubitaka sustava, performanse toplinskog sunčevog pod-sustava, opisane su sljedećim podacima:

- vrsta i karakteristike toplinskog sunčevog sustava;
- smještaj sustava;
- vrsta upravljanja;
- toplinska potreba.

Na temelju ovih podataka, proračunom dobivamo sljedeće podatke o modulu toplinskog sunčevog pod-sustava:

- prikupljena toplina sustava;
- toplinski gubici spremnika;
- potrošnja pomoćne energije pumpe i regulacije;
- nadoknadivu pomoćnu energiju;
- nadoknadive toplinske gubitke.



Slika 2.1 Toplinska bilanca za sunčane sustave i sustave predgrijanja (* solar-plus sustave) [3]

2.5 Pomoćna energija

Pomoćna energija je potrebna za djelovanje toplinskog sunčevog pod-sustava, npr. pumpa petlje kolektora, zaštita protiv smrzavanja. Uzima se u obzir pri stvaranju pod-sustava sve dok nema prijenosa energije prema sustavu distribucije izvan toplinskog sunčevog pod-sustava.

2.6 Nadoknadivost, iskorišteni i neiskorišteni toplinski gubici

Izračunati toplinski gubici ne moraju nužno biti izgubljeni. Neki dijelovi gubitaka mogu se iskoristiti, a dio tih nadoknadivih gubitaka je zaista iskorišten.

To su npr. toplinski gubici između sunčanog pod-sustava i pomoćnog grijača.

2.7 Kalkulacijski periodi

Svrha izračunavanja jest odrediti godišnji toplinski dobitak sunčevog sustava. Ovo se može napraviti na sljedeća dva načina:

- koristeći godišnje podatke za rad sustava, te proračunavati sa prosječnim godišnjim vrijednostima;
- tako da se godina podijeli na niz proračunskih perioda (npr. mjeseci), provodeći proračun za svaki period posebno, sa pripadnim podacima, te na kraju zbrojiti rezultate svih perioda tokom godine.

3. PRORAČUN TOPLINSKOG/TOPLOVODNOG SUNČANOG SUSTAVA [3]

3.1 Procedure proračunavanja

Postoje dvije metode određivanja toplinskog dobitka, potrošnje pomoćne energije i nadoknadivosti gubitaka toplinskog sunčanog sustava te drugih izlaznih podataka, koji su povezani sa sustavom i potrebni za određivanje energetske karakteristike građevine sa toplinskim sunčanim sustavom.

- metoda A koristi podatke sustava, tj. ulazne podatke iz testiranja sustava ili standardne ulazne vrijednosti sustava koje su dane u EN 12976-2 (indikatori performansi) – također se mogu koristiti i simulacije sustava (simulirani testovi);
- metoda B koristi komponentne podatke, tj. ulazne vrijednosti testova komponenti (ili standardne ulazne vrijednosti komponenti)

Napomena: metoda A se može koristiti sa površinama kolektora manjim od 6 m², a ograničenost testiranja sustava prema EN 12976-2 jest u tome da je moguće testirati funkciju PTV zasebno od funkcije grijanja, no u tom slučaju, podaci sustava primijenjuju se samo za PTV, pa se stoga grijanje prostora pomoću toplinskog sunčanog sustava ne uzima u obzir.

3.2 Metoda B – koristivši podatke komponenti (rezultati testova komponenti)

Ova proračunska metoda temeljena na „*f-chart*“ metodi (vidi [4]) sastoji se od sljedećih koraka:

- definirati potrebe primijenjene na toplinski sunčani sustav (ulazni podatak za ovu metodu)
 - proračunati udio potrebne topline za grijanje spram ukupne potrebne topline (P_H)
 - proračunati udio potrebne topline za PTV spram ukupne potrebne topline (P_W)
- proračunati udio X (sličan omjeru gubitaka spram primijenjenoj toplini)
 - odrediti površinu kolektora A ;
 - odrediti koeficijent gubitka topline kolektorske petlje U_{loop} ;
 - odrediti faktor korisnosti kolektorske petlje η_{loop} ;
 - izračunati razliku referentnih temperatura ΔT ;
 - izračunati korekcijski faktor solarnog spremnika f_{st} koji ovisi o konfiguraciji sustava (sustav predgrijanja ili solarni-plus-dodatni sustav);
 - pripisati obujam spremnika za grijanje ili pripremu PTV;
- proračunati udio Y (sličan omjeru solarnog dobitka spram primijenjene topline)
 - odrediti nulti faktor iskoristivosti kolektora η_0 ;
 - odrediti sunčevu insolaciju I na površini kolektora;
- izračunati toplinski dobitak za grijanje i pripremu PTV i ukupni toplinski dobitak;
- izračunati potrošnju pomoćne energije;
- izračunati toplinske gubitke sustava;
 - odrediti toplinske gubitke solarnog spremnika;
 - odrediti toplinske gubitke distribucije između sustava i pomoćnog grijača;
- izračunati iskoristivost gubitaka sustava;
 - odrediti iskoristivost gubitaka pomoćne energije;
 - odrediti iskoristivost toplinskih gubitaka spremnika;
 - odrediti iskoristivost toplinskih distribucijskih gubitaka.

4. ALGORITAM

Ovo poglavlje poslužiti će kao upute, te pomoć pri korištenju proračunskog algoritma (za određivanje toplinskih karakteristika sunčevog sustava za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode prema HRN RN 15316-4-3) koji je pisan u Microsoft Office Excel-u i dostupan u prilogu ovog rada.

Ovdje će se također prikazati put proračunavanja pojedinih karakteristika, kako bi korisnik osim samih tablica, imao bolji uvid u to što se događa u „pozadini“ tablica.

Također, biti će objašnjena značenja naziva podataka sa kojima korisnik barata uključujući i njihove mjerne jedinice, kako ne bi došlo do zabune i greške u upotrebi.

Objašnjenja će pratiti sam tok algoritma, tj. svako poglavlje algoritma biti će objašnjeno samo za sebe i po redoslijedu, pa se stoga korisniku preporuča simultano korištenje algoritma i podataka koji slijede.

4.1 Općenito i početni parametri

Na prvom listu algoritma nalaze se tablice 4.1, 4.2. i 4.3 (vrijednosti u tablicama su samo pokazne, preuzete su iz norme, služe kao primjer i za testiranje ispravnosti algoritma, a klimatski podaci su za Zürich u Švicarskoj). Bitno je primijetiti da se tablice dijele na dva različita grafička formata, tj. u tablicama se nalazi dio u kojemu je pozadina svijetloplave boje a podaci (slova) su ispisani crvenom bojom, te slova ispisana bijelom bojom i sa tamnoplavom pozadinom. Ovakav format se proteže kroz sva poglavlja algoritma i važno je zapamtiti da crvena slova označuju nazive ulaznih veličina, tj. podatke za koje se očekuje da ih korisnik unese u odgovarajuća polja tablice, a bijelim slovima su obilježeni nazivi izlaznih veličina dobivenih proračunom.

Crvena slova – ulazne veličine

Bijela slova – dobiveni podaci

Tablica 4.1 Početni parametri

A [m²]	8,4
V_{sol} [l]	600
a₁ [W/m²K]	3,723
a₂ [W/m²K]	0,014
η_{loop} [-]	0,9
IAM [-]	0,94
η₀ [-]	0,803
θ_{ref} [°C] (za grijanje)	100
θ_w [°C]	40
θ_{cw} [°C]	9,7
P_{aux,nom} [W] (poznata snaga)	20
V_{ref} [l]	630
P_{aux,nom} [W]	41,8
U_{loop,p} [W/m²K]	9,2
U_{loop} [W/m²K]	5,358
f_{st} [-]	1,012

U prvoj tablici potrebno je unijeti niz vrijednosti koje su svojstvene za sunčani sustav, a to su:

- A [m^2] – površina sunčevih kolektora;
- V_{sol} [l] – volumen solarnog spremnika/cisterne;
- a_1 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] – koeficijent gubitka topline sunčevih kolektora prvog reda prema EN 12975-2;
- a_2 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] – koeficijent gubitka topline sunčevih kolektora drugog reda prema EN 12975-2;
 - napomena: ako koeficijenti nisu poznati, uzimaju se tipične vrijednosti:
 $a_1 = 1,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ - vakuumski cijevni kolektori;
 $a_1 = 3,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ - glazirani kolektor;
 $a_1 = 15 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ - neglazirani kolektor;
 $a_2 = 0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.
- η_{loop} [-] – faktor korisnosti petlje kolektora (kolektor i cijevi) uzevši u obzir utjecaj izmjenjivača topline. Tipična vrijednost: $\eta_{\text{loop}} = 0,9$;
- IAM [-] – modifikator upadnog kuta kolektora i ovisi o vrsti kolektora. Zadane vrijednosti su:
 - za pločaste glazirane kolektore, $IAM = 0,94$;
 - za neglazirane kolektore, $IAM = 1,00$;
 - za vakuumske cijevne kolektore sa plosnatim apsorberom, $IAM = 0,97$;
 - za vakuumske cijevne kolektore sa cirkularnim apsorberom, $IAM = 1,00$.
- η_0 [-] – nulti faktor korisnosti iz EN 12975-2 koji je povezan sa površinom kolektora. Tipična vrijednost: $\eta_0 = 0,8$;
- θ_{ref} [$^{\circ}\text{C}$] (za grijanje) – referentna temperatura za grijanje, ovisi o sustavu i upotrebi. Sustav za grijanje, prema normi, $\theta_{\text{ref}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- θ_w [$^{\circ}\text{C}$] – željena temperatura tople vode, prema normi se uzima $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- θ_{cw} [$^{\circ}\text{C}$] – temperatura vodovodne vode (ista za svaki mjesec);
- $P_{\text{aux,nom}}$ [W] (poznata) – nominalna snaga solarne pumpe ako je poznata iz specifikacija proizvođača. Podatak se obično očitava sa etikete na pumpi. Za više-fazne pumpe uzima se vrijednost snage za tipičan način rada. Ako podatak nije poznat, polje se može ostaviti prazno a snaga se izračunava jednadžbom (4.1).

Dobivene vrijednosti:

- V_{ref} [l] – referentni obujam, dobiva se množenjem sa 75 (litara) po m^2 površine kolektora;
- $P_{aux,nom}$ [W] – nominalna snaga solarne pumpe. Ako nije poznata iz specifikacija pumpe, dobiva se sljedećim izrazom:

$$- P_{aux,nom} = 25 + 2 \cdot A \quad [W] \quad (4.1)$$

- $U_{loop,p}$ [W/m^2K] – koeficijent gubitaka topline svih cijevi u petlji kolektora, uključujući cijevi između samih kolektora te cijevi između kolektora i spremnika vode. Dobiva se sljedećim izrazom:

$$- U_{loop,p} = 5 + 0,5 \cdot A \quad [W/m^2K] \quad (4.2)$$

- U_{loop} [W/m^2K] – ukupni koeficijent gubitaka topline. Dobiva se sljedećim izrazom:

$$- U_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + U_{loop,p} / A \quad [W/m^2K] \quad (4.3)$$

- f_{st} [-] – korekcijski faktor kapaciteta solarnog spremnika i dobiva se sljedećim izrazom:

$$- f_{st} = (V_{ref}/V_{sol})^{0,25} \quad [-] \quad (4.4)$$

[3]

U tablicu 4.2 potrebno je upisati vrijednosti zasebno za svaki mjesec i isto tako se očitavaju dobivene vrijednosti. U prvom retku je definiran broj dana u mjesecu, s time da je za veljaču usvojeno 28 dana jer su za jedan dan više za prijestupnu godinu, razlike u proračunu zanemarivo male < 3% (op.a.).

Tablica 4.2 Mjesečni klimatski podaci [3]

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
Dana u mjesecu	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{e,avg}$ [°C]	0,1	0,5	4,8	8	12,5	15,2	18,8	18,1	14,5	9,9	4,1	1,6
I_m [W/m^2]	72	105	141	164	183	190	214	204	171	121	72	57
$E_{sol,in}$ [kWh/m^2]	54	71	105	118	136	137	159	152	123	90	52	42
t_m [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

Ostale ulazne vrijednosti su:

- $\theta_{e,avg}$ [°C] – prosječna temperatura zraka za zadani period;
- I_m [W/m²] – prosječna insolacija (sunčevo zračenje) na površinu kolektora za vrijeme zadanog perioda;

i dobivene vrijednosti:

- $E_{sol,in}$ [kWh/m²] – mjesečna insolacija na površinu kolektora. Dobiva se sljedećim izrazom:

$$- E_{sol,in} = I_m \cdot t_m \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (4.5)$$

- t_m [h] – trajanje mjeseca u satima.

- θ_{ref} [°C] (za pripremu PTV) – referentna temperatura vode za pripremu potrošne tople vode. Dobiva se sljedećim izrazom:

$$- \theta_{ref} = 11,6 + 1,18 \cdot \theta_w + 3,86 \cdot \theta_{cw} - 1,32 \cdot \theta_{e,avg} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.6)$$

- ΔT [K] – razlika referentne temperature, a dobiva se sljedećim izrazom:

$$- \Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg} \quad [\text{K}] \quad (4.7)$$

[3]

Tablica 4.3 Referentna temperatura za PTV i razlika u temperaturi

θ_{ref} [°C] (za pripremu PTV)	96,1	95,6	89,9	85,7	79,7	76,2	71,4	72,4	77,1	83,2	90,8	94,1
ΔT [K]	96,0	95,1	85,1	77,7	67,2	61,0	52,6	54,3	62,6	73,3	86,7	92,5

4.2 Određivanje potrošnje toplinske energije

Na sljedećoj stranici algoritma nalaze se tablice 4.4, 4.5 i 4.6. U tablicu 4.4 potrebno je unijeti prosječnu dnevnu potrošnju tople vode u litrama, temperaturni raspon zagrijavanja vode θ_{\min} i θ_{\max} , površinu gradnje koju je potrebno grijati, potrebnu godišnju energiju za grijanje u kilovatsatima po kvadratnom metru, sezonu grijanja, postavnu temperaturu za grijanje te toplinske gubitke distribucije energije (može se pretpostaviti da iznose 10% od prosječne dnevne upotrebe energije).

Napomena: algoritam prepoznaje dvije različite sezone grijanja. Jedna sezona traje od rujna do svibnja i odnosi se na konvencionalni način gradnje. Za drugu sezonu se uzima da traje od listopada do travnja i odnosi se na niskoenergetsku gradnju. Za proračun sezona grijanja koje su različite od ovih, potrebno je napraviti preinake u algoritmu.

Tablica 4.4 Toplinska energija potrebna za PTV i grijanje

Dnevna potrošnja tople vode [l/dan]		140
Temperaturni raspon zagrijavanja vode [°C]	θ_{\min} [°C]	15
	θ_{\max} [°C]	65
Grijana površina [m²]		130
Potrebna godišnja energija za grijanje [kWh/m²]		100
Sezona grijanja (upisati slovo): a) Ruj-Svi (9-5) b) Lis-Tra (10-4)		a
Postavna temperatura za grijanje [°C]		15
Toplinski gubici distribucije [%]		10
Prosječna dnevna potrošnja energije za PTV-u [kWh/dan], Q_{PTV}		8,13
Prosječni dnevni gubici energije za PTV [kWh/dan], $Q_{\text{PTV},\text{Is\%}}$		0,81
Ukupna godišnja potrošnja energije za grijanje prostora $Q_{\text{H},\text{an}}$ [kWh]		13000,0
Godišnji gubici energije za grijanje prostora $Q_{\text{H},\text{an},\text{Is\%}}$ [kWh]		1300,0

Više podataka o prosječnoj dnevnoj potrošnji vode i za približni izračun potrošnje vidi [5] i [6].

Sve sljedeće vrijednosti, kao što se vidi iz tablica su dobivene i to su:

- prosječna dnevna potrošnja toplinske energije za potrošnu toplu vodu u kilovatsat po danu, koja se dobiva jednostavnom termodinamičkom formulom:

$$Q_{PTV} = (dnevna\ PTV) \cdot (\theta_{max} - \theta_{min}) \cdot 4180 / (3,6 \cdot 10^6) \text{ [kWh/dan]} \quad (4.8)$$
- prosječni dnevni gubici energije koji su jednaki unesenom postotku gubitaka od prosječne dnevne potrošnje energije ($Q_{PTV,ls\%}$).
- ukupna godišnja potrošnja energije za grijanje prostora $Q_{H,an}$ [kWh], dobiva se množenjem iznosa grijane površine sa iznosom godišnje potrebne energije po metru kvadratnom gradnje.
- godišnji gubici energije za grijanje prostora $Q_{H,an,ls\%}$ [kWh].

[3]

Tablica 4.5 Određivanje broja grijanih „stupanj-dana“

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
Dana u mjesecu	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{e,avg}$ [°C]	0,1	0,5	4,8	8	12,5	15,2	18,8	18,1	14,5	9,9	4,1	1,6
HDD_m [-]	461,9	406	316,2	210	77,5	0	0	0	15	158,1	327	415,4

Tablica 4.5 služi nam je za određivanje tzv. „stupanj-dana“, koji su potrebni za definiranje potreba za grijanjem. HDD_m odn. mjesečni iznos stupanj-dana dobiva se tako da se od vrijednosti postavne temperature za grijanje oduzme vrijednost prosječne temperature zraka zadanog perioda, a dobiveni broj se pomnoži sa brojem dana u periodu. Općeniti podaci o stupanj danima za različite geografske lokacije su dostupni i na internetu (vidi [7]).

Tablica 4.6 Mjesečne toplinske potrebe PTV i grijanja, te udjeli P_W i P_H [3]

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
$Q_{W,sol,us,m}$ [kWh]	277	250	277	268	277	268	277	277	268	277	268	277
$Q_{H,sol,us,m}$ [kWh]	2767	2432	1894	1258	464	0	0	0	90	947	1959	2488
P_W [-]	0,09	0,09	0,13	0,18	0,37	1,00	1,00	1,00	0,75	0,23	0,12	0,10
P_H [-]	0,91	0,91	0,87	0,82	0,63	0,00	0,00	0,00	0,25	0,77	0,88	0,90

U tablici 4.6 dobiveni su sljedeći podaci:

- $Q_{W,sol,us,m}$ [kWh] – mjesečni iznos energije primijenjene na toplovodni sunčev sustav za PTV-u, dobiva se izrazom:

$$- Q_{W,sol,us,m} = (Q_{PTV} + Q_{PTV,ls\%}) \cdot (dana\ u\ mjesecu) \text{ [kWh]} \quad (4.9)$$

- $Q_{H,sol,us,m}$ [kWh] – mjesečni iznos energije primijenjene na toplovodni sunčev sustav za grijanje, dobiva se sljedećim izrazom:

$$- Q_{H,sol,us,m} = (HDD_m / HDD_{an}) \cdot (Q_{H,an} + Q_{H,an,ls\%}) \text{ [kWh]} \quad (4.10)$$

- gdje je HDD_{an} ukupni godišnji broj stupanj-sati, jednak je zbroju svih mjesečnih iznosa HDD_m ;

- P_W [-] – omjer primijenjene energije za PTV i ukupne primijenjene energije. Definiran je sljedećim izrazom:

$$- P_W = Q_{W,sol,us} / (Q_{W,sol,us} + Q_{H,sol,us}) \quad [-] \quad (4.11)$$

- P_H [-] - omjer primijenjene energije za grijanje i ukupne primijenjene energije. Definiran je sljedećim izrazom:

$$- P_H = Q_{H,sol,us} / (Q_{W,sol,us} + Q_{H,sol,us}) \quad [-] \quad (4.12)$$

[3]

Koeficijenti P_W i P_H pokazuju nam u kojim odnosima se jedan solarni tank dijeli na dio za PTV i dio za grijanje. Također biti će nam potrebni kasnije za izračun bezdimenzijskih faktora X i Y te za proračun dobivene sunčeve energije. [3]

4.3 Određivanje faktora X i Y te dobitka energije sunčanog sustava

U ovom poglavlju algoritma potreban je samo jedan ulazni podatak i za to treba odgovoriti na pitanje, za kakvu vrstu sustava se želi napraviti proračun. Ako sustav ima vodeni spremnik, u odgovarajuće polje za odgovor je potrebno upisati slovo „a“ (bez navodnika). Za sustav sa direktnim solarnim podom potrebno je upisati slovo „b“ (direktni solarni pod je vrsta sustava gdje je kolektor direktno povezan sa grijačim podom, koji istovremeno ima ulogu spremnika te izmjenjivača topline).

Sa ovim podatkom definirani su u istoj tablici korelacijski faktori:

- a, b, c, d, e – korelacijski faktori ovisni o vrsti solarnog spremnika
- f – novi korelacijski faktor specifičan za direktni solarni pod

[3]

Tablica 4.7 Vrsta sustava i korelacijski faktori

		Korelacijski faktori	
Vrsta sustava: a) vodeni spremnik b) direktni solarni pod		a [-]	1,029
		b [-]	-0,065
		c [-]	-0,245
		d [-]	0,0018
Odgovor (upisati slovo):	a	e [-]	0,0215
		f [-]	0

Tablica 4.8 Ovisnost korelacijskih faktora o vrsti sustava [3]

Korelacijski faktori	Vrsta sustava	
	Vodeni spremnik	Direktni solarni pod
a	1,029	0,863
b	-0,065	-0,147
c	-0,245	-0,263
d	0,0018	0,008
e	0,0215	0,029
f	0	0,025

Sad su dostupni svi potrebni podaci za dobivanje faktora X i Y te za izračun toplinskog dobitka, tj. prikupljene sunčeve energije. Ove vrijednosti dane su u tablicama 4.9 i 4.10 u ovisnosti o mjesecima i to posebno za PTV-u i posebno za grijanje.

Tablica 4.9 Faktori X, Y i toplinski dobitak za PTV [3]

	$Q_{W,sol,us,m}$ [kWh]	$x [-]$	$y [-]$	$Q_{W,sol,out,m}$ [kWh]
Sij	277	0,962	0,100	11
Velj	250	0,977	0,150	22
Ožu	277	1,196	0,276	53
Tra	268	1,503	0,441	84
Svi	277	2,767	1,047	185
Lip	268	6,712	2,909	268
Srp	277	5,793	3,276	277
Kol	277	5,972	3,123	277
Ruj	268	5,162	1,961	255
Lis	277	1,826	0,419	77
Stu	268	1,150	0,133	16
Pro	277	1,021	0,087	7
God	3263	-	-	1532

Tablica 4.10 Faktori X, Y i toplinski dobitak za grijanje [3]

	$Q_{H,sol,us,m}$ [kWh]	$x [-]$	$y [-]$	$Q_{H,sol,out,m}$ [kWh]
Sij	2767	1,00	0,100	104
Velj	2432	1,03	0,150	204
Ožu	1894	1,41	0,276	336
Tra	1258	1,93	0,441	364
Svi	464	4,11	1,047	277
Lip	0	0,00	0,000	0
Srp	0	0,00	0,000	0
Kol	0	0,00	0,000	0
Ruj	90	8,25	1,961	74
Lis	947	2,49	0,419	227
Stu	1959	1,33	0,133	97
Pro	2488	1,10	0,087	46
God	14300	-	-	1729

Ukupne godišnje vrijednosti su osjenčane sa narančastom bojom radi lakšeg uočavanja.

Bezdimenzijski faktori X i Y , potrebni za izračun toplinskog dobitka definirani su sljedećim izrazima:

$$\bullet \quad X = A \cdot U_{\text{loop}} \cdot \eta_{\text{loop}} \cdot \Delta T \cdot f_{\text{st}} \cdot t_m / (Q_{\text{sol,us},m} \cdot 1000) \quad [-] \quad (4.13)$$

$$\bullet \quad Y = A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{\text{loop}} \cdot I_m \cdot t_m / (Q_{\text{sol,us},m} \cdot 1000) \quad [-] \quad (4.14)$$

[3]

Svi podaci koji se pojavljuju u jednadžbama 4.13 i 4.14 su već objašnjeni, stoga ih nema potrebe opet navoditi.

Važno je napomenuti da je za sustave sa jednim spremnikom potrebno u navedenim jednadžbama još i dodatno pomnožiti površinu kolektora A sa odgovarajućim koeficijentom, P_H za grijanje i P_W za PTV. Također za $Q_{\text{sol,us},m}$ se podrazumijeva da se uzimaju vrijednosti za grijanje odnosno PTV ako želimo dobiti X i Y za grijanje, odnosno PTV. [3]

Na kraju su ostali još $Q_{W,\text{sol,out},m}$ i $Q_{H,\text{sol,out},m}$, tj. mjesečni dobici sunčeve energije za PTV i za grijanje, a definirani su izrazom:

$$\bullet \quad Q_{\text{sol,out},m} = (a \cdot Y + b \cdot X + c \cdot Y^2 + d \cdot X^2 + e \cdot Y^3 + f \cdot X^3) \cdot Q_{\text{sol,us},m} \quad [\text{kWh}] \quad (4.15)$$

[3]

Ovdje je važno napomenuti da solarni dobitak ne može biti negativan, stoga ako se proračunom dobije negativna vrijednost, ona se postavlja jednaka nuli.

Također, dobitak energije ne može biti veći od energije primijenjene na sustav, pa se u tom slučaju vrijednost postavlja jednaka vrijednosti primijenjene energije za određeno razdoblje. [3]

4.4 Određivanje potrošnje pomoćne energije

Prelaskom na novo poglavlje dolazimo do podataka o pomoćnoj energiji. Naime, za sustav sa prisilnom cirkulacijom, potrebna je pumpa i regulacija koje troše pomoćnu električnu energiju.

Tablica 4.11 Snaga i trajanje rada pumpe

	Odg.	$t_{aux,y}$ [h]	$P_{aux,nom}$ [W]
Da li je poznata nominalna snaga pumpe? DA/NE	da	2000	20

U algoritmu, tj. u tablici 4.11 je potrebno odgovoriti na pitanje „da li je poznata nominalna snaga pumpe?“. U polje za odgovor potrebno je upisati „DA“ ili „NE“ (neosjetljivo na velika ili mala slova) i skladno s time se određuje nominalna snaga koju smo unijeli na početku algoritma ili se snaga pumpe dobiva jednadžbom 4.1, a podatak se ispisuje u odgovarajuće polje u tablici

Potrebno je još unijeti:

- $t_{aux,y}$ [h] – godišnje trajanje rada pumpe u satima i prema EN12976 može se uzeti da iznosi 2000 h. [3]

Tablica 4.12 Mjesečni rad i potrošnja energije pumpe [3]

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$t_{aux,m}$ [h]	87	114	169	191	220	221	257	245	199	145	84	68	2000
$W_{sol,aux,m}$ [kWh]	1,7	2,3	3,4	3,8	4,4	4,4	5,1	4,9	4,0	2,9	1,7	1,4	40,0

Dobiveni podaci u tablici 4.12 su:

- $t_{aux,m}$ [h] – mjesečno trajanje rada pumpe u satima i određuje se raspodjelom godišnjeg trajanja rada pumpe, tako da odgovara mjesečnom udjelu insolacije (npr. ako u siječnju mjesečna insolacija iznosi 5% od ukupne godišnje insolacije, onda je trajanje rada pumpe u siječnju 5% od godišnjeg trajanja rada pumpe)
- $W_{sol,aux,m}$ [kWh] – mjesečna potrošnja pomoćne energije dobiva se sljedećim izrazom:

$$W_{sol,aux,m} = P_{aux,nom} \cdot t_{aux,m} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (4.16)$$

[3]

4.5 Određivanje toplinskih gubitaka sunčanog toplovodnog sustava

Tablica 4.13 Ukupni koeficijent gubitka i postavne temperature

U_{st} [W/K]	3,92
$\theta_{set\ point}$ [°C] (za grijanje)	40
$\theta_{set\ point}$ [°C] (za PTV)	60

Na novoj stranici algoritma nalazi se tablica 4.13 u kojoj se na prvom mjestu očitava:

- U_{st} [W/K] – ukupni koeficijent gubitka topline solarnog spremnika koji se dobiva:

$$U_{st} = 0,16 \cdot V_{sol}^{0,5} \quad [W/K] \quad (4.17)$$

a u ostala dva mjesta potrebno je upisati podatke za:

- $\theta_{set\ point}$ [°C] (za grijanje) – postavna vrijednost temperature za grijanje prema normi iznosi 40°C
 - $\theta_{set\ point}$ [°C] (za PTV) - postavna vrijednost temperature za PTV-u prema normi jest 60°C
- [3]

U tablici 4.14 potrebno je odgovoriti na dva pitanja, gdje se solarni spremnik nalazi, te da li je cjevovod između sunčanog sustava i pomoćnog grijača toplinski izoliran?

Tablica 4.14 Smještaj spremnika i toplinska izolacija cjevovoda

Solarni spremnik se nalazi u: a) grijanom prostoru b) u ne-grijanom prostoru c) izvan objekta	Odgovor (upisati slovo):
	a
Da li je cjevovod između sunčevog sustava i pomoćnog grijača toplinski izoliran? DA/NE	Odgovor (DA ili NE):
	DA

Sa odgovorima na ova pitanja definirani su podaci potrebni za izračunavanje vrijednosti u tablici 4.15.

O prvom odgovoru ovisi:

- $\theta_{a,avg}$ [°C] – prosječna ambijentalna temperatura zraka, a dobiva se za:
 - a) solarni spremnik u grijanom prostoru $\rightarrow \theta_{a,avg} = 20$ °C;
 - b) solarni spremnik u negrijanom prostoru $\rightarrow \theta_{a,avg} = \theta_{e,avg} + (20^{\circ}\text{C} - \theta_{e,avg}) / 2$;
 - c) solarni spremnik smješten izvan objekta $\rightarrow \theta_{a,avg} = \theta_{e,avg}$ (vidi tablicu 4.2).

O drugom odgovoru ovisi:

- $Q_{bu,dis,ls,m}$ [kWh] – toplinski gubici distribucije između sunčanog sustava i pomoćnog grijača, gdje je u slučaju:
 - izoliranih cijevi (odgovor „DA“)

$$Q_{bu,dis,ls,m} = 0,02 \cdot (Q_{sol,out,m} / Q_{sol,us,m}) \text{ [kWh]} \quad (4.18)$$
 - neizoliranih cijevi (odgovor „NE“)

$$Q_{bu,dis,ls,m} = 0,05 \cdot (Q_{sol,out,m} / Q_{sol,us,m}) \text{ [kWh]} \quad (4.19)$$

Konačno slijede podaci o toplinskim gubicima u tablici 4.15:

- $Q_{W,sol,st,ls,m}$ [kWh] – mjesečni toplinski gubitak PTV-a, i dobiva se na sljedeći način:

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \cdot t_m / 1000 \text{ [kWh]} \quad (4.20)$$
- $Q_{H,sol,st,ls,m}$ [kWh] - mjesečni toplinski gubitak grijanja, dobiva se na sljedeći način:

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \cdot t_m / 1000 \text{ [kWh]} \quad (4.21)$$
- $Q_{W,bu,dis,ls,m}$ [kWh] – mjesečni distribucijski gubici za PTV (vidi 4.18 i 4.19)
- $Q_{H,bu,dis,ls,m}$ [kWh] – mjesečni distribucijski gubici za grijanje (vidi 4.18 i 4.19)
- $Q_{sol,ls,m}$ [kWh] (ukupno) – ukupni mjesečni toplinski gubici sustava, računaju se:

$$Q_{sol,ls,m} = Q_{W,sol,st,ls,m} + Q_{H,sol,st,ls,m} + Q_{bu,dis,ls,m} \text{ [kWh]} \quad (4.22)$$

[3]

Tablica 4.15 Mjesečni i ukupni toplinski gubici [3]

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$Q_{W,sol,st,ls,m}$ [kWh]	4,7	9,2	22,2	35,5	77,9	112,9	116,6	116,6	107,3	32,4	6,8	2,6	645
$Q_{H,sol,st,ls,m}$ [kWh]	2,2	4,4	10,4	16,3	34,8	0,0	0,0	0,0	46,5	14,0	2,8	1,1	132
$Q_{W,bu,dis,ls,m}$ [kWh]	0,2	0,4	1,1	1,7	3,7	5,4	5,5	5,5	5,1	1,5	0,3	0,1	30,6
$Q_{H,bu,dis,ls,m}$ [kWh]	2,1	4,1	6,7	7,3	5,5	0,0	0,0	0,0	1,5	4,5	1,9	0,9	35
$Q_{sol,ls,m}$ [kWh] (ukupno)	9,1	18,1	40,3	60,8	121,9	118,2	122,2	122,2	160,4	52,4	11,8	4,9	842
$\theta_{a,avg}$ [°C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

Ukupni godišnji toplinski gubici jednaki su zbroju svih mjesečnih i nalaze se na kraju tablice. Zbog lakšeg isčitavanja ukupne mjesečne i godišnje vrijednosti toplinskih gubitaka osjenčane su narančastom bojom.

4.6 Određivanje iskoristivosti gubitaka

Dio potrošnje pomoćne energije i toplinskih gubitaka toplovodnog sunčevog sustava su povrativi i mogu se pripisati grijanju objekta za vrijeme sezone grijanja. [3]

U ovom dijelu algoritma nije potrebno unositi podatke jer su sve vrijednosti za izračun nadoknadivosti već poznate.

Tablica 4.16 Iskoristivost gubitaka pumpe i gubitaka sustava

Iskoristivost pumpe [%]	50%
Iskoristivost sol. sustava [%]	100%

U prvoj tablici su u postotcima izražene vrijednosti o iskoristivosti gubitaka pumpe i sunčanog sustava (distribucija između sustava i pomoćnog grijača).

Iskoristivost pumpe je definirana sa 50%. [3]

Iskoristivost gubitaka sunčanog sustava ovisi o mjestu ugradnje sunčanog sustava (vidi tablica 4.14) pa vrijedi:

- 100 % ako je komponenta ugrađena unutar grijanog prostora objekta
- 50 % ako je komponenta ugrađena u negrijanom prostoru objekta
- 0 % ako je komponenta ugrađena izvan objekta.

Slijede podaci iz tablice 4.17:

- $Q_{sol,aux,rbl,m}$ [kWh] – mjesečni povrativi iznos pomoćne energije, iznosi su (zbog 50 %-tne nadoknadivosti pumpe) jednaki polovici mjesečne potrošnje pomoćne energije;
- $Q_{sol,st,ls,rbl,m}$ [kWh] – mjesečni povrativi iznos toplinskih gubitaka solarnog spremnika, dobiva se tako da se zbroj toplinskih gubitaka PTV-a i grijanja pomnoži sa odgovarajućim postotkom nadoknadivosti sustava;
- $Q_{bu,dis,ls,rbl,m}$ [kWh] - mjesečni povrativi iznos distribucijskih toplinskih gubitaka, dobiva se tako da se zbroj ukupnih distribucijskih gubitaka PTV-a i grijanja pomnoži sa odgovarajućim postotkom nadoknadivosti sustava.

[3]

Tablica 4.17 Iskoristivost mjesečnih i ukupnih godišnjih toplinskih gubitaka [3]

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$Q_{sol,aux,rbl,m}$ [kWh]	0,9	1,1	1,7	1,9	2,2	-	-	-	2,0	1,5	0,8	0,7	13
$Q_{sol,st,ls,rbl,m}$ [kWh]	6,8	13,6	32,5	51,8	112,7	-	-	-	153,8	46,3	9,6	3,8	431
$Q_{bu,dis,ls,rbl,m}$ [kWh]	2,3	4,5	7,8	9,0	9,2	-	-	-	6,6	6,1	2,3	1,1	49
$Q_{sol,ls,rbl,m}$ [kWh]	10,0	19,3	42,0	62,7	124,1	0,0	0,0	0,0	162,4	53,8	12,6	5,6	493

4.7 Određivanje redukcije trajanja rada nesolarnog generatora topline

Sunčani sustav smanjuje vrijeme rada ostalih (pomoćnih) generatora topline. Ova redukcija trajanja rada utječe na potrošnju pomoćne energije, a u nekim slučajevima i na toplinske gubitke pomoćnog-ih generatora toplinske energije. Dakle smanjenje rada nesolarnog-ih generatora topline utječe i na energetske bilancu građevine zahvaljujući:

- smanjenju potrošnje pomoćne energije
- smanjenju „stand-by“ toplinskih gubitaka. [3]

Za određivanje ovih vrijednosti, potrebno je popuniti tablicu 4.18 sa odgovarajućim karakteristikama konvencionalnog sustava za grijanje i distribuciju (bez sunčanog sustava).

Tablica 4.18 Karakteristike konvencionalnog sustava za grijanje i distribuciju

Snaga pomoćne pumpe [W]	70
Godišnje (prosječno) trajanje rada pomoćne pumpe [h]	1000
Snaga pomoćnog generatora topline [kW]	35
Gubici topline pomoćnog generatora [W]	500

4.7.1 Smanjenje potrošnje pomoćne energije pumpe

Pretpostavlja se da se pomoćna energija koju troši generator topline, smanjuje proporcionalno spram udjelu topline koju pokriva sunčani sustav. Dakle, solarni udio se dobiva zasebno za svaki mjesec sljedećim izrazom:

$$\bullet \quad f_{\text{sol},m} = Q_{\text{sol,out},m} / Q_{\text{sol,us},m} \quad [-] \quad (4.23)$$

[3]

a njegove vrijednosti se očitavaju u tablici 4.19.

Tablica 4.19 Mjesečni nominalni rad pumpe, solarni udio i nominalna potrošnja pomoćne energije nesolarnog sustava [3]

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$t_{p, bu, nom, m}$ [h]	173	153	124	87	42	15	16	16	20	70	127	157	1000
$f_{sol, m}$ [-]	0,04	0,08	0,18	0,29	0,62	1,00	1,00	1,00	0,92	0,25	0,05	0,02	
$W_{bu, aux, m}$ [kWh]	11,7	9,8	7,1	4,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,1	3,7	8,4	10,8	46,2

U tablici su još i sljedeći podaci:

- $t_{p, bu, nom, m}$ [h] – mjesečni iznos trajanja rada pomoćne pumpe u satima, za slučaj odsutnosti termalnog sunčanog sustava. Proporcionalan je udjelu mjesečne potrebe za grijanjem, a prosječno godišnje trajanje rada ovakve pumpe iznosi 1000 h;
- $W_{bu, aux, m}$ [kWh] – **reducirana** mjesečna potrošnja pomoćne energije nesolarnog (pomoćnog) generatora topline. Dobiva se sljedećim izrazom:

$$W_{bu, aux, m} = W_{bu, nom, m} \cdot (1 - f_{sol, m}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.23)$$

- gdje je $W_{bu, nom, m}$ mjesečna **nominalna** potrošnja pomoćne energije nesolarnog generatora topline. Određuje se tako da se snaga pomoćne pumpe pomnoži sa mjesečnim iznosom trajanja rada pumpe $t_{p, bu, nom, m}$ · [3]

4.7.2 Smanjenje „stand-by“ toplinskih gubitaka pomoćnog generatora topline

Ako sunčani sustav pokriva cjelokupne potrebe za toplinom kroz duži period, nesolarni generator topline može se isključiti pa su time sačuvani toplinski gubici koji bi se inače pojavili. Vrijednosti ovih gubitaka dane su u tablici 4.20. [3]

Tablica 4.20 Mjesečni nominalni rad toplinskog generatora, te mjesečni iznosi nominalnih i reduciranih gubitaka topline

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$t_{bu, nom, m}$ [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
$Q_{bu, ls, nom, m}$ [kWh]	372	336	372	360	372	360	372	372	360	372	360	372	4380
$Q_{bu, ls, m}$ [kWh]	372	336	372	360	372	0	0	0	29	372	360	372	2945

U ovoj tablici su definirani sljedeći podaci:

- $t_{bu,nom,m}$ [h] – mjesečno nominalno („stand-by“) trajanje rada toplinskog generatora bez prisutnosti sunčanog sustava;
- $Q_{bu,ls,nom,m}$ [kWh] – mjesečni nominalni toplinski gubici nesolarnog toplinskog generatora. Dobivaju se tako da se gubitak topline pomoćnog generatora pomnoži sa mjesečnim nominalnim trajanjem rada generatora.
- $Q_{bu,ls,m}$ [kWh] – reducirani mjesečni toplinski gubici pomoćnog generatora. Ovisе o udjelu $f_{sol,m}$ -a i vrijedi za:
 - $f_{sol,m} < 80\% \rightarrow Q_{bu,ls,m} = Q_{bu,ls,nom,m}$
 - $f_{sol,m} \geq 80\% \rightarrow Q_{bu,ls,m} = Q_{bu,ls,nom,m} \cdot (1 - f_{sol,m})$

[3]

Na kraju su još u tablici 4.21 dane vrijednosti o ukupnim uštedama redukcijom rada pomoćnog toplinskog generatora.

Tablica 4.21 Ukupne godišnje uštede energije redukcijom rada toplinskog pomoćnog generatora

Godišnja ušteda energije redukcijom rada pomoćne pumpe [kWh]	23,8
Godišnja ušteda gubitaka topline redukcijom rada pom. generatora [kWh]	1435
Ukupna godišnja ušteda energije redukcijom [kWh]	1459

4.8 Proračunski godišnji rezultati te određivanje perioda povrata investicije

Na kraju algoritma u prvoj tablici ispisani su svi važniji godišnji podaci.

Tablica 4.22 Proračunski godišnji rezultati

Godišnja potrebna energija za PTV [kWh]	3263
Godišnja potrebna energija za grijanje [kWh]	14300
Ukupna godišnja potrebna energija [kWh]	17563
Godišnji dobitak sunčanog sustava za PTV [kWh]	1532
Godišnji dobitak sunčanog sustava za grijanje [kWh]	1729
Ukupni godišnji dobitak sunčanog sustava [kWh]	3261
Godišnja ušteda energije redukcijom rada pomoćne pumpe [kWh]	24
Godišnja ušteda gubitaka topline redukcijom rada pom. generatora [kWh]	1435
Ukupna godišnja ušteda energije redukcijom [kWh]	1459
Ukupni godišnji energetska dobitak sunčanog sustava [kWh]	4720

U tablicu 4.23 potrebno je upisati cijenu pojedinih komponenti sunčanog sustava kako bi se dobila ukupna cijena investicije.

Tablica 4.23 Financijski podaci o investiciji

Cijena površine kolektora [kn/m ²]	2000
Cijena volumena spremnika [kn/l]	25
Cijena instalacije, ugradnje i ostalo [kn]	16000
Ukupna cijena kolektora [kn]	16800
Ukupna cijena spremnika [kn]	15000
Ukupna cijena investicije [kn]	47800

Napomena: u primjerima proračuna usvojena je prosječna cijena od 16000kn za instalaciju i ostale troškove.

Na kraju je još u tablici 4.24 moguće napraviti proračun perioda povrata investicije sunčanog sustava, spram električne energije ili plina. Potrebno je u zadano polje upisati prosječnu cijenu kilovatsata dobivenog od konvencionalnog dobavljača energije. npr. za električnu energiju sa prosječnom cijenom od 0,60 kn po kWh-u (prema [8]) ili sa cijenom od 0,30 kn po kWh-u za gradski plin (prema [9]).

Tablica 4.24 Određivanje perioda povrata investicije

	STRUJA	PLIN
Cijena kWh-a konvencionalnog izvora energije [kn/kWh]	0,6	0,3
Godišnja cijena potrebne energije konvenc. izvora [kn/god]	10538	5269
Godišnja ušteda sa sunčanim sustavom [kn/god]	2832	1416
Period povrata investicije [god]	16,9	33,8

5. NUMERIČKI PRIMJER PRORAČUNA ALGORITMOM

U nastavku će biti prikazan primjer proračuna toplinskih karakteristika sunčanog sustava sa klimatskim podacima za grad Zagreb, s time da će se podaci o mjesečnoj insolaciji uzimati za optimalni nagib kolektora (vidi [7]). Površina grijanog objekta iznosi 150 m^2 , u objektu boravi 6 osoba, a prosječna potrošnja tople vode iznosi 55 l dnevno po osobi. Kao pomoćni izvor energije služi toplovodni kotao snage 35 kW sa gubicima od 500 W. Toplinski gubici distribucije su 10%. Potrebno je naći optimalnu kolektorsku površinu, ako cijena jednog kvadratnog metra kolektora iznosi 2000 kn, a cijena spremnika je 25 kn po litri. Proračun je potrebno posebno provesti za običnu gradnju sa energetsom potrebom za grijanjem od 200 kWh/m^2 , te za niskoenergetsku gradnju sa potrebom grijanja koja iznosi 30 kWh/m^2 godišnje.

5.1 Obična gradnja, Zagreb

U nastavku slijedi prikaz proračunskog algoritma sa klimatskim podacima za Zagreb, toplinskim potrebama za običnu gradnju, te sa površinom kolektora od 14m^2 i spremnikom volumena od 200l, za što će se kasnije ispostaviti da je idealna kombinacija površine/volumena s obzirom na dobivene rezultate.

PRORAČUNSKI ALGORITAM ZA ODREĐIVANJE TOPLINSKIH KARAKTERISTIKA SUNČEVOG SUSTAVA ZA GRIJANJE PROSTORA I PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE

1. Početni parametri

Tablica 4.1 Početni parametri

$A \text{ [m}^2\text{]}$	14
$V_{sol} \text{ [l]}$	200
$a_1 \text{ [W/m}^2\text{K]}$	3,723
$a_2 \text{ [W/m}^2\text{K]}$	0,014
$\eta_{loop} \text{ [-]}$	0,9
$IAM \text{ [-]}$	0,94
$\eta_o \text{ [-]}$	0,803
$\theta_{ref} \text{ [}^\circ\text{C]}$ (za grijanje)	22
$\theta_w \text{ [}^\circ\text{C]}$	45
$\theta_{cw} \text{ [}^\circ\text{C]}$	13
$P_{aux,nom} \text{ [W]}$ (poznata snaga)	20
$V_{ref} \text{ [l]}$	1050
$P_{aux,nom} \text{ [W]}$	53
$U_{kop,p} \text{ [W/m}^2\text{K]}$	12
$U_{kop} \text{ [W/m}^2\text{K]}$	5,12
$f_{st} \text{ [-]}$	1,514

Tablica 4.2 Mjesečni klimatski podaci

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
Dana u mjesecu	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{e,avg} \text{ [}^\circ\text{C]}$	0,4	2,4	4,1	11,4	16,3	19,8	21,2	21	16,3	12,5	6,6	1,2
$I_m \text{ [W/m}^2\text{]}$	79	115	146	193	210	214	234	218	188	128	74	53
$E_{sol,in} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$	58,8	77,3	108,6	139,0	156,2	154,1	174,1	162,2	135,4	95,2	53,3	39,4
$t_m \text{ [h]}$	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

Tablica 4.3 Referentna temperatura za PTV i razlika u temperaturi

$\theta_{ref} \text{ [}^\circ\text{C]}$ (za pripremu PTV)	114,4	111,7	109,5	99,8	93,4	88,7	86,9	87,2	93,4	98,4	106,2	113,3
$\Delta T \text{ [K]}$	114,0	109,3	105,4	88,4	77,1	68,9	65,7	66,2	77,1	85,9	99,6	112,1

Slika 5.1 Algoritam, Početni parametri, Zagreb obična gradnja

2. Određivanje toplinskih potreba

Tablica 4.4 Toplinske potrebe za PTV i grijanje

Dnevna potrošnja tople vode [l/dan]		330
Temperaturni raspon zagrijavanja vode [°C]	θ_{\min} [°C]	13
	θ_{\max} [°C]	45
Grijana površina [m²]		150
Potrebna godišnja energija za grijanje [kWh/m²]		200
Sezona grijanja (upisati slovo): a) RuJ-Svi (9-5) b) Lis-Tra (10-4)		a
Postavna temperatura za grijanje [°C]		22
Toplinski gubici distribucije [%]		10
Prosječna dnevna upotreba energije za PTV-u [kWh/dan], Q_{PTV}		12,26
Prosječni dnevni gubici energije za PTV [kWh/dan], $Q_{PTV,15\%}$		1,23
Ukupna potrebna godišnja energija za grijanje prostora $Q_{H,an}$ [kWh]		30000,0
Godišnji gubici energije za grijanje prostora $Q_{H,an,15\%}$ [kWh]		3000,0

Tablica 4.5 Određivanje broja grijanih „stupanj-dana“

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
Dana u mjesecu	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{e,avg}$ [°C]	0,4	2,4	4,1	11,4	16,3	19,8	21,2	21	16,3	12,5	6,6	1,2
HDD_m [-]	669,6	548,8	554,9	318	176,7	0	0	0	171	294,5	462	644,8

Tablica 4.6 Mjesečne toplinske potrebe PTV, te udjeli P_W i P_H

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
$Q_{W,sol,us,m}$ [kWh]	418	378	418	405	418	405	418	418	405	418	405	418
$Q_{H,sol,us,m}$ [kWh]	5754	4716	4768	2733	1518	0	0	0	1469	2531	3970	5541
P_W [-]	0,07	0,07	0,08	0,13	0,22	1,00	1,00	1,00	0,22	0,14	0,09	0,07
P_H [-]	0,93	0,93	0,92	0,87	0,78	0,00	0,00	0,00	0,78	0,86	0,91	0,93

Slika 5.2 Algoritam, Određivanje toplinskih potreba, Zagreb obična gradnja

3. Određivanje faktora X i Y te dobitka energije sunčanog sustava

Tablica 4.7 Vrsta sustava i korelacijski faktori

		Korelacijski faktori	
Vrsta sustava: a) vodeni spremnik b) direktni solarni pod		a [-]	1,029
		b [-]	-0,065
		c [-]	-0,245
		d [-]	0,0018
Odgovor (upisati slovo):	a	e [-]	0,0215
		f [-]	0

Tablica 4.9 Faktori X,Y i toplinski dobitak za PTV

	$Q_{W,sol,us,m}$ [kWh]	X [-]	Y [-]	$Q_{W,sol,out,m}$ [kWh]
Sij	418	1,341	0,091	3
Velj	378	1,408	0,144	21
Ožu	418	1,476	0,199	43
Tra	405	1,982	0,421	109
Svi	418	2,891	0,767	201
Lip	405	11,980	3,620	405
Srp	418	11,416	3,958	418
Kol	418	11,497	3,688	418
Ruj	405	2,891	0,687	172
Lis	418	2,116	0,307	69
Stu	405	1,600	0,116	7
Pro	418	1,367	0,063	0
God	4923	-	-	1866

Tablica 4.10 Faktori X,Y i toplinski dobitak za grijanje

	$Q_{H,sol,us,m}$ [kWh]	X [-]	Y [-]	$Q_{H,sol,out,m}$ [kWh]
Sij	5754	0,26	0,091	428
Velj	4716	0,28	0,144	590
Ožu	4768	0,31	0,199	837
Tra	2733	0,49	0,421	983
Svi	1518	0,83	0,767	915
Lip	0	0,00	0,000	0
Srp	0	0,00	0,000	0
Kol	0	0,00	0,000	0
Ruj	1469	0,83	0,687	802
Lis	2531	0,54	0,307	655
Stu	3970	0,35	0,116	370
Pro	5541	0,27	0,063	257
God	33000	-	-	5836

Slika 5.3 Algoritam, Određivanje faktora X i Y te dobitka energije sunčanog sustava, Zagreb obična gradnja

4. Određivanje potrošnje pomoćne energije

Tablica 4.11 Snaga i trajanje rada pumpe

	Odg.	$t_{aux,y}$ [h]	$P_{aux,nom}$ [W]
Da li je poznata nominalna snaga pumpe? DA/NE	da	2000	20

Tablica 4.12 Mjesečni rad i potrošnja energije pumpe

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$t_{aux,m}$ [h]	87	114	161	205	231	228	257	240	200	141	79	58	2000
$W_{sol,aux,m}$ [kWh]	1,7	2,3	3,2	4,1	4,6	4,6	5,1	4,8	4,0	2,8	1,6	1,2	40,0

Slika 5.4 Algoritam, Određivanje potrošnje pomoćne energije, Zagreb obična gradnja

5. Određivanje toplinskih gubitaka sunčanog sustava

Tablica 4.13 Ukupni koeficijent gubitka i postavne temperature

U_{st} [W/K]	2,26
$\theta_{set\ point}$ [°C] (za grijanje)	22
$\theta_{set\ point}$ [°C] (za PTV)	45

Tablica 4.14 Smještaj spremnika i toplinska izolacija cjevovoda

Solarni spremnik se nalazi u:	Odgovor (upisati slovo):
a) grijanom prostoru	a
b) u ne-grijanom prostoru	
c) izvan objekta	
Da li je cjevovod između sunčanog sustava i pomoćnog grijača toplinski izoliran?	Odgovor (DA ili NE):
DA/NE	DA

Tablica 4.15 Mjesečni i ukupni toplinski gubici

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$Q_{W,sol,st,ls,m}$ [kWh]	0,3	2,1	4,3	11,0	20,3	40,7	42,1	42,1	17,3	6,9	0,7	0,0	188
$Q_{H,sol,st,ls,m}$ [kWh]	0,3	0,4	0,6	1,2	2,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,9	0,3	0,2	7,53
$Q_{W,bu,dis,ls,m}$ [kWh]	0,1	0,4	0,9	2,2	4,0	8,1	8,4	8,4	3,4	1,4	0,1	0,0	37,3
$Q_{H,bu,dis,ls,m}$ [kWh]	8,6	11,8	16,7	19,7	18,3	0,0	0,0	0,0	16,0	13,1	7,4	5,1	117
$Q_{sol,ls,m}$ [kWh] (ukupno)	9,2	14,7	22,5	34,0	44,6	48,8	50,4	50,4	38,6	22,2	8,5	5,3	349
$\theta_{a,avg}$ [°C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

Slika 5.5 Algoritam, Određivanje toplinskih gubitaka sunčanog sustava, Zagreb obična gradnja

6. Određivanje iskoristivosti gubitaka

Tablica 4.16 Iskoristivost gubitaka pumpe i gubitaka sustava

Iskoristivost pumpe [%]	50%
Iskoristivost sol. sustava [%]	100%

Tablica 4.17 Iskoristivost mjesečnih i ukupnih godišnjih toplinskih gubitaka

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$Q_{sol,aux,rbl,m}$ [kWh]	0,9	1,1	1,6	2,1	2,3	0,0	0,0	0,0	2,0	1,4	0,8	0,6	13
$Q_{sol,st,ls,rbl,m}$ [kWh]	0,6	2,5	4,9	12,2	22,3	0,0	0,0	0,0	19,1	7,8	1,0	0,2	70
$Q_{bu,dis,ls,rbl,m}$ [kWh]	8,6	12,2	17,6	21,8	22,3	0,0	0,0	0,0	19,5	14,5	7,5	5,1	129
$Q_{sol,s,rbl,m}$ [kWh]	10,0	15,8	24,1	36,1	46,9	0,0	0,0	0,0	40,6	23,6	9,3	5,9	212

Slika 5.6 Algoritam, Određivanje iskoristivosti gubitaka, Zagreb obična gradnja

7. Određivanje redukcije trajanja rada pomoćnog generatora topline

Tablica 4.18 Karakteristike konvencionalnog sustava za grijanje i distribuciju

Snaga pomoćne pumpe [W]	70
Godišnje (prosječno) trajanje rada pomoćne pumpe [h]	1000
Snaga pomoćnog generatora topline [kW]	35
Gubitak topline pomoćnog generatora [W]	500

Tablica 4.19 Mjesečni nominalni rad pumpe, solarni udio i nominalna potrošnja pomoćne energije nesolarnog sustava

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$t_{p, bu, nom, m}$ [h]	163	134	137	83	51	11	11	11	49	78	115	157	1000
$f_{sol, m}$ [-]	0,07	0,12	0,17	0,35	0,58	1,00	1,00	1,00	0,52	0,25	0,09	0,04	
$W_{bu, aux, m}$ [kWh]	10,6	8,3	7,9	3,8	1,5	0,0	0,0	0,0	1,7	4,1	7,4	10,5	45,3

Tablica 4.20 Mjesečni nominalni rad toplinskog generatora, te mjesečni iznosi nominalnih i reduciranih gubitaka topline

	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro	God
$t_{bu, nom, m}$ [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
$Q_{bu, ls, nom, m}$ [kWh]	372	336	372	360	372	360	372	372	360	372	360	372	4380
$Q_{bu, ls, m}$ [kWh]	372	336	372	360	372	0	0	0	360	372	360	372	3276

Tablica 4.21 Ukupne godišnje uštede energije redukcijom rada toplinskog pomoćnog generatora

Godišnja ušteda energije redukcijom rada pomoćne pumpe [kWh]	24,7
Godišnja ušteda gubitaka topline redukcijom rada pom. generatora [kWh]	1104
Ukupna godišnja ušteda energije redukcijom [kWh]	1129

Slika 5.7 Algoritam, Određivanje redukcije trajanja rada nesolarnog generatora topline, Zagreb obična gradnja

8. Godišnji ukupni rezultati i isplativost

Tablica 4.22 Proračunski godišnji rezultati

Godišnja potrebna energija za PTV [kWh]	4923
Godišnja potrebna energija za grijanje [kWh]	33000
Ukupna godišnja potrebna energija [kWh]	37923
Godišnji dobitak sumčanog sustava za PTV [kWh]	1866
Godišnji dobitak sunčanog sustava za grijanje [kWh]	5836
Ukupni godišnji dobitak sunčanog sustava [kWh]	7702
Godišnja ušteda energije redukcijom rada pomoćne pumpe [kWh]	25
Godišnja ušteda gubitaka topline redukcijom rada pom. generatora [kWh]	1104
Ukupna godišnja ušteda energije redukcijom [kWh]	1129
Ukupni godišnji energetska dobitak sunčanog sustava [kWh]	8831

Tablica 4.23 Financijski podaci o investiciji

Cijena površine kolektora [kn/m ²]	2000
Cijena volumena spremnika [kn/l]	25
Cijena instalacije, ugradnje i ostalo [kn]	16000
Ukupna cijena kolektora [kn]	28000
Ukupna cijena spremnika [kn]	5000
Ukupna cijena investicije [kn]	49000

Tablica 4.24 Određivanje perioda povrata investicije

	STRUJA	PLIN
Cijena kWh-a konvencionalnog izvora energije [kn/kWh]	0,6	0,3
Godišnja cijena potrebne energije konvenc. izvora [kn/god]	22754	11377
Godišnja ušteda sa sunčanim sustavom [kn/god]	5299	2649
Period povrata investicije [god]	9,2	18,5

Slika 5.8 Algoritam, Godišnji ukupni rezultati i isplativost, Zagreb obična gradnja

5.1.1 Određivanje optimalne površine kolektora

Prema dobivenim informacijama o periodu povrata investicije (PPI) i o ukupnom iznosu investicije, napravljene su tablice 5.1 i 5.2 u kojima je prikazana zavisnost PPI o različitim kombinacijama površine kolektora i volumena spremnika.

Tablica 5.1 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram električne energije kao alternativnog energenta, za Zagreb, obična gradnja

Volumen spremnika [l]	Površina kolektora [m ²]									
	6	8	10	14	20	22	24	26	28	30
200	10,92	9,94	9,54	9,25	9,18	9,21	9,03	8,89	8,96	9,04
250	11,22	10,18	9,76	9,42	9,29	9,30	9,11	8,96	9,02	9,10
300	11,53	10,44	10,00	9,60	9,41	9,18	9,20	9,05	9,10	9,17
350	11,86	10,71	10,25	9,79	9,55	9,30	9,31	9,14	9,18	9,25
400	12,20	10,99	10,50	9,98	9,69	9,43	9,43	9,25	9,28	9,34
450	12,54	11,28	10,76	10,18	9,84	9,56	9,55	9,35	9,38	9,44
500	12,89	11,57	11,02	10,38	9,99	9,69	9,67	9,47	9,48	9,54
550	13,24	11,87	11,28	10,59	10,14	9,83	9,80	9,58	9,59	9,65
600	13,59	12,17	11,54	10,79	10,30	9,97	9,93	9,70	9,70	9,75

Tablica 5.2 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram plina kao alternativnog energenta, za Zagreb, obična gradnja

Volumen spremnika [l]	Površina kolektora [m ²]									
	6	8	10	14	20	22	24	26	28	30
200	21,84	19,88	19,08	18,50	18,36	18,42	18,06	17,78	17,92	18,08
250	22,44	20,36	19,52	18,84	18,58	18,60	18,22	17,92	18,04	18,20
300	23,06	20,88	20,00	19,20	18,82	18,36	18,40	18,10	18,20	18,34
350	23,72	21,42	20,50	19,58	19,10	18,60	18,62	18,28	18,36	18,50
400	24,40	21,98	21,00	19,96	19,38	18,86	18,86	18,50	18,56	18,68
450	25,08	22,56	21,52	20,36	19,68	19,12	19,10	18,70	18,76	18,88
500	25,78	23,14	22,04	20,76	19,98	19,38	19,34	18,94	18,96	19,08
550	26,48	23,74	22,56	21,18	20,28	19,66	19,60	19,16	19,18	19,30
600	27,18	24,34	23,08	21,58	20,60	19,94	19,86	19,40	19,40	19,50

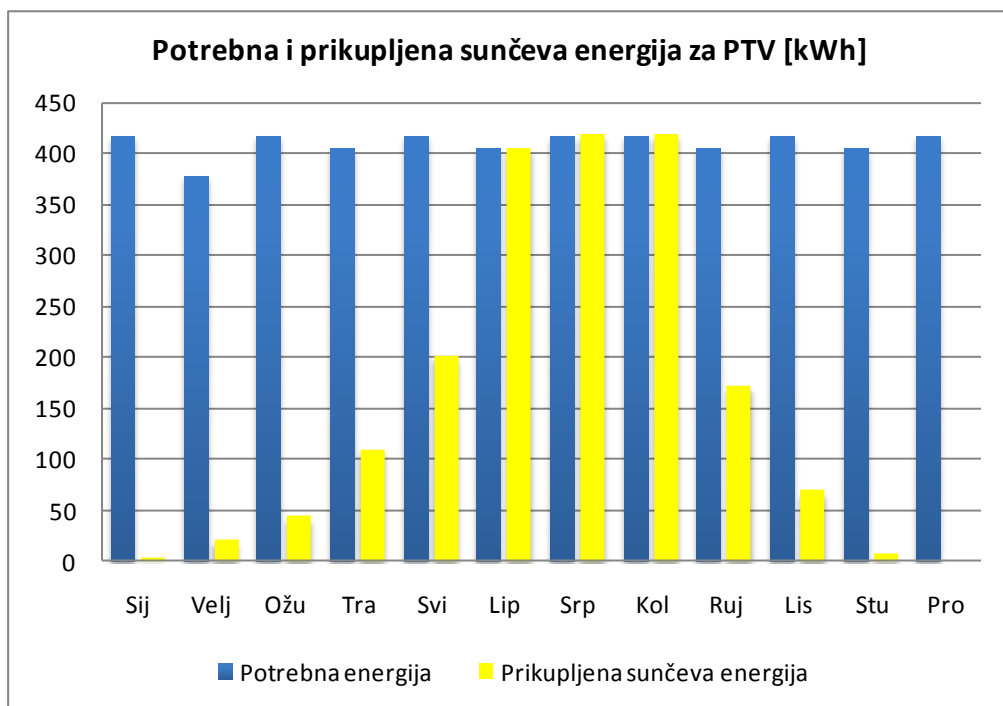
Ovisnost iznosa ukupnih investicija također je prikazana u tablici sa istim kombinacijama kolektora i volumena spremnika, pa je sada lako odrediti optimalnu kombinaciju sunčanog sustava prema vlastitim željama i mogućnostima.

Tablica 5.3 Ovisnost cijene instalacije (u kunama) o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika

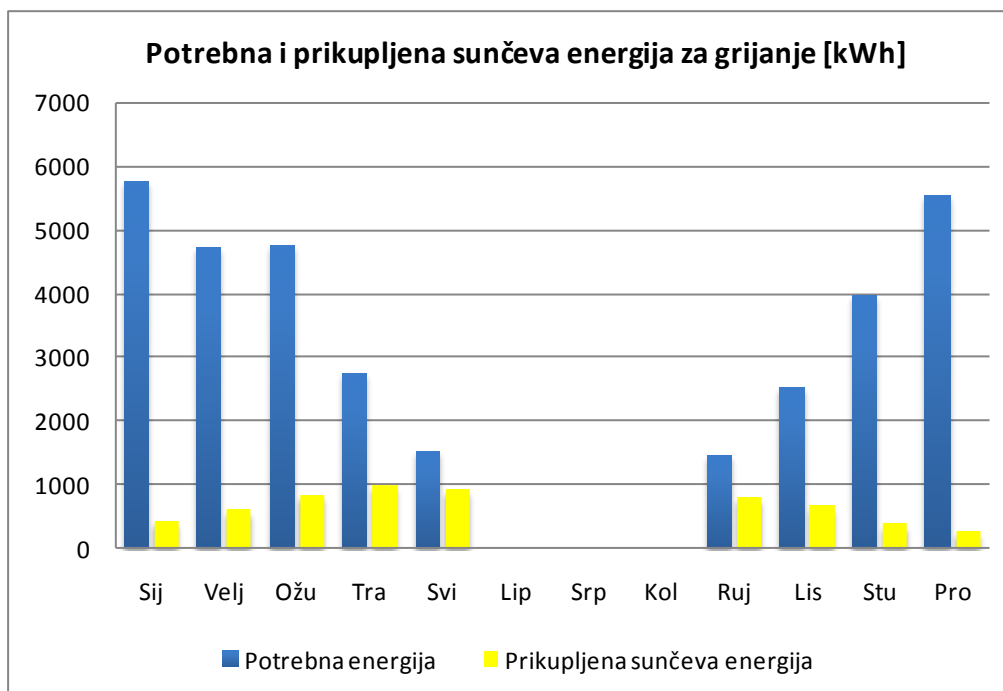
Volumen spremnika [l]	Površina kolektora [m ²]									
	6	8	10	14	20	22	24	26	28	30
200	33000	37000	41000	49000	61000	65000	69000	73000	77000	81000
250	34250	38250	42250	50250	62250	66250	70250	74250	78250	82250
300	35500	39500	43500	51500	63500	67500	71500	75500	79500	83500
350	36750	40750	44750	52750	64750	68750	72750	76750	80750	84750
400	38000	42000	46000	54000	66000	70000	74000	78000	82000	86000
450	39250	43250	47250	55250	67250	71250	75250	79250	83250	87250
500	40500	44500	48500	56500	68500	72500	76500	80500	84500	88500
550	41750	45750	49750	57750	69750	73750	77750	81750	85750	89750
600	43000	47000	51000	59000	71000	75000	79000	83000	87000	91000

Iz rezultata u tablicama lako je primijetiti da se za običnu gradnju u Zagrebu, s obzirom na PPI najviše isplate veliki sunčani sustavi. Dakle, najisplativije kombinacije su one sa što većom površinom kolektora ali sa manjim volumenom spremnika. Dakako, cijena instalacije isto raste sa povećanjem sustava, pa je potrebno potražiti neki odgovarajući presjek ovih tablica.

Ovdje se ističe kombinacija 14m² i 200l kao najpovoljnije rješenje (ova kombinacija je prikazana u primjeru proračuna) sa vrlo dobrih 9,54 godine PPI u odnosu na struju i sa prihvatljivih 49000kn (obje vrijednosti još u zelenom polju), što nam daje poticaj za daljnje preciznije proračune. Iz dobivenih godišnjih rezultata u primjeru proračuna vidi se, da sa ovakvom kombinacijom godišnji sunčani dobitak može pokriti ukupne godišnje energetske troškove za PTV te jedan manji dio troškova za grijanje.

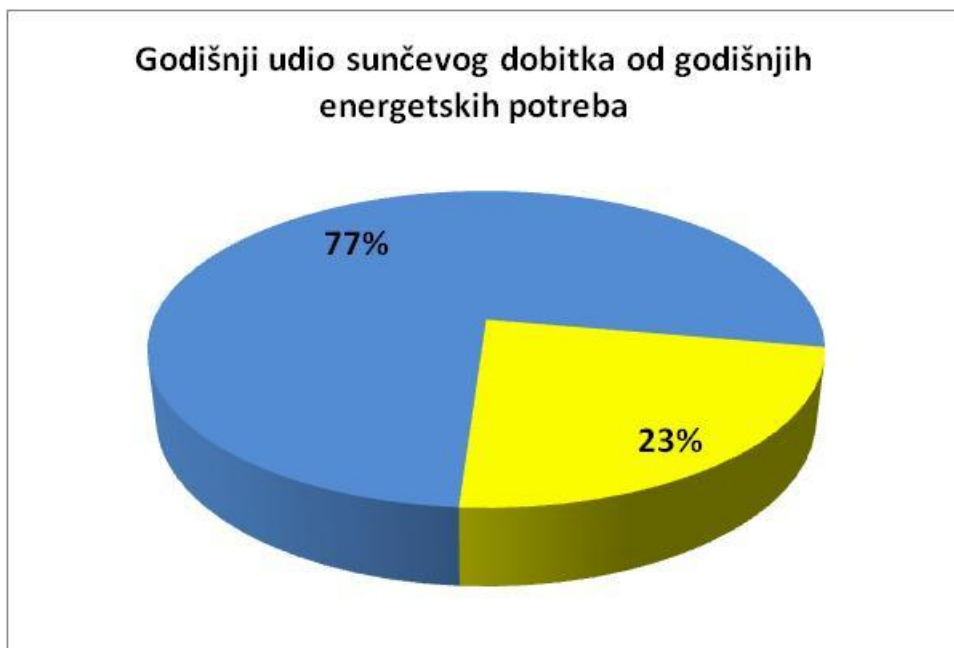


Slika 5.9 Grafički prikaz mjesečnih energetske potreba i sunčanog dobitka za PTV, Zagreb, obična gradnja, 14m²-200l



Slika 5.10 Grafički prikaz mjesečnih energetske potreba i sunčanog dobitka za grijanje, Zagreb, obična gradnja, 14m²-200l

U odnosu na plin, za očekivati je (s obzirom na dvostruko jeftiniju postavljenu vrijednost cijene plina u odnosu na struju), da su dobiveni PPI dvostruko veći. Stoga ako se uzme ista kombinacija 14/200, dobije se PPI za 18,50 godina sa cijenom investicije od 49000kn. Može se zaključiti da se sa sadašnjom cijenom plina kao energenta, cijenom sunčanih sustava i sa klimatskim podnebljem Zagrebačkog područja, još uvijek ne isplati koristiti sunčani sustav spram plina.



Slika 5.11 Udio godišnjeg energetskeg dobitka sunčanog sustava od ukupnih godišnjih energetskeg potreba, Zagreb, obična gradnja, 14m²-200l

5.2 Niskoenergetska gradnja, Zagreb

Tablica 5.4 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram električne energije kao alternativnog energenta, Zagreb, niskoenergetska gradnja

Volumen spremnika [l]	Površina kolektora [m ²]									
	6	8	10	14	20	22	24	26	28	30
200	12,90	10,90	10,99	11,21	12,52	12,99	12,99	13,01	13,43	13,84
250	12,33	11,10	11,18	11,37	12,67	13,13	13,12	13,14	13,56	13,99
300	12,63	11,33	11,41	11,55	12,83	12,83	13,23	13,28	13,70	14,14
350	12,95	11,58	11,65	11,75	13,01	12,99	13,42	13,42	13,85	14,30
400	13,28	11,85	11,90	11,96	13,19	13,16	13,16	13,58	14,00	14,46
450	13,62	12,13	12,17	12,18	13,39	13,33	13,32	13,74	14,16	14,62
500	13,96	12,41	12,44	12,41	13,58	13,51	13,50	13,91	14,33	14,78
550	14,31	12,70	12,72	12,64	13,78	13,70	13,67	14,08	14,49	14,94
600	14,67	13,00	12,99	12,87	13,51	13,88	13,84	14,24	14,66	15,11

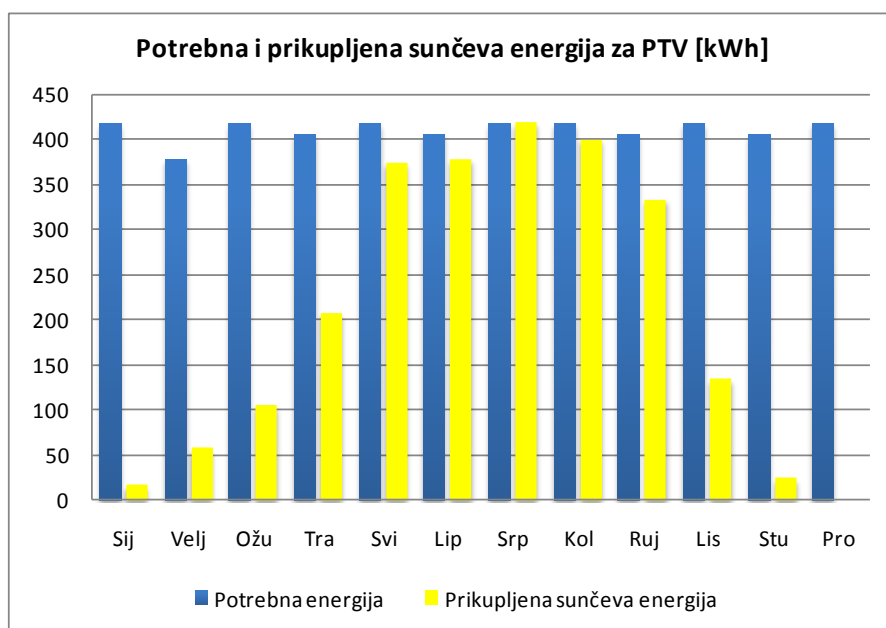
Tablica 5.5 Ovisnost PPI o površini kolektora i volumenu solarnog spremnika, spram plina kao alternativnog energenta, Zagreb, niskoenergetska gradnja

Volumen spremnika [l]	Površina kolektora [m ²]									
	6	8	10	14	20	22	24	26	28	30
200	25,80	21,80	21,98	22,42	25,04	25,98	25,98	26,02	26,86	27,68
250	24,66	22,20	22,36	22,74	25,34	26,26	26,24	26,28	27,12	27,98
300	25,26	22,66	22,82	23,10	25,66	25,66	26,45	26,56	27,40	28,28
350	25,90	23,16	23,30	23,50	26,02	25,98	26,84	26,84	27,70	28,60
400	26,56	23,70	23,80	23,92	26,38	26,32	26,32	27,16	28,00	28,92
450	27,24	24,26	24,34	24,36	26,78	26,66	26,64	27,48	28,32	29,24
500	27,92	24,82	24,88	24,82	27,16	27,02	27,00	27,82	28,66	29,56
550	28,62	25,40	25,44	25,28	27,56	27,40	27,34	28,16	28,98	29,88
600	29,34	26,00	25,98	25,74	27,02	27,76	27,68	28,48	29,32	30,22

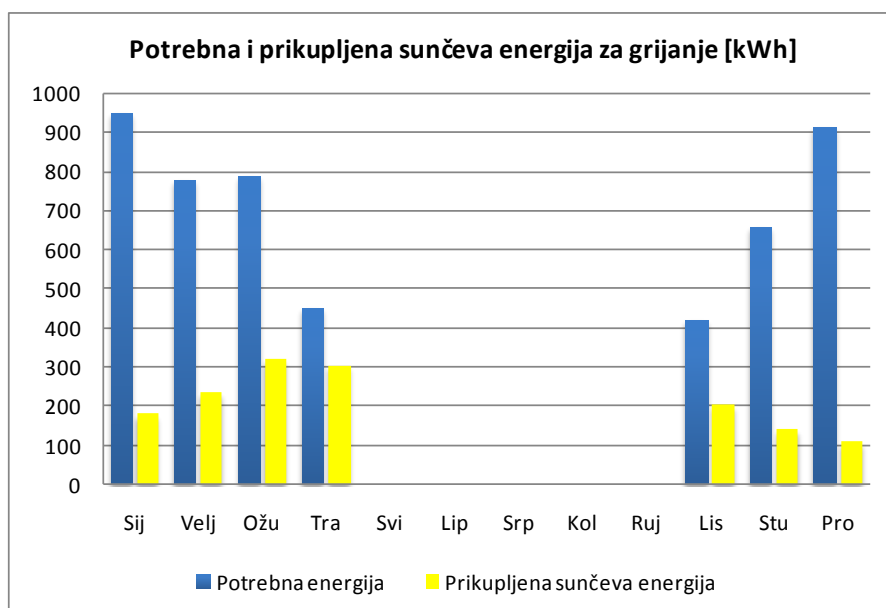
Za razliku od obične gradnje, kod niskoenergetskih građevina najviše će se isplatiti manji sustavi, što također ide u prilog sa financijskog stajališta. No ovdje je PPI za iste kombinacije kao kod obične gradnje nešto veći.

Optimalna kombinacija ovdje je sunčani sustav $8\text{m}^2\text{-}200\text{l}$ koji ima nešto veći PPI, ali je zato početna investicija sa atraktivnom cijenom od 37000kn manja za više od 30% nego što je to bilo kod prijašnjeg optimalnog slučaja.

Prema tablici 5.5 očito je da se u odnosu na plin, sunčani sustav kod niskoenergetskih građevina ne isplati.



Slika 5.12 Grafički prikaz mjesečnih energetske potrebe i sunčanog dobitka za PTV, Zagreb, niskoenergetska gradnja, $8\text{m}^2\text{-}200\text{l}$



Slika 5.13 Grafički prikaz mjesečnih energetske potrebe i sunčanog dobitka za grijanje, Zagreb, niskoenergetska gradnja, $8\text{m}^2\text{-}200\text{l}$

Tablica 5.6 Proračunski godišnji rezultati, 10m²-200l, Zagreb, niskoenergetska gradnja

Godišnja potrebna energija za PTV [kWh]	4923
Godišnja potrebna energija za grijanje [kWh]	4950
Ukupna godišnja potrebna energija [kWh]	9873
Godišnji dobitak sunčanog sustava za PTV [kWh]	2446
Godišnji dobitak sunčanog sustava za grijanje [kWh]	1485
Ukupni godišnji dobitak sunčanog sustava [kWh]	3930
Godišnja ušteda energije redukcijom rada pomoćne pumpe [kWh]	37
Godišnja ušteda gubitaka topline redukcijom rada pom. generatora [kWh]	1692
Ukupna godišnja ušteda energije redukcijom [kWh]	1728
Ukupni godišnji energetski dobitak sunčanog sustava [kWh]	5659

Godišnji rezultati ovdje su odlični, naime sunčani sustav pokriva 57% godišnjih potreba za energijom. S obzirom na trenutačnu situaciju cijena i s obzirom na životni vijek sunčanih sustava, kod niskoenergetskih građevina još se uvijek isplati koristiti plin kao izvor toplinske energije. No imajući na umu stalni trend porasta cijena konvencionalnih energenata i s pretpostavkom da se u budućnosti neće morati plaćati računi za sunce, možemo prognozirati ipak znatnije uštede tokom životnog vijeka jednog kvalitetnog sunčanog sustava.



Slika 5.14 Udio godišnjeg energetskog dobitka sunčanog sustava od ukupnih godišnjih energetskih potreba, Zagreb, niskoenergetska gradnja, 8m²-200l

6. ZAKLJUČAK

Ručno proračunavanje za dobivanje svih ovih podataka je sa današnjom tehnologijom nezamislivo, stoga se izrada ovog algoritma u Microsoft Office Excel-u pokazala kao odličan primjer uštede vremena i eliminacije proračunskih pogrešaka. Jednom uneseni glavni parametri sustava u kombinaciji sa iteracijom odabranih veličina, korisniku daju brze podatke o sustavu koji ga dalje navode ka željenom cilju proračuna.

Što se tiče našeg primjera proračuna, može se zaključiti da se za Zagrebačko podneblje ugradnja sunčevog toplovodnog sustava isplati to više što je veća potrošnja energije građevine. Pri tom se u odnosu na period povrata investicije najviše isplate sustavi sa velikim površinama sunčevih kolektora što ujedno i neizbježno povećava početne troškove investicije, dok je kod niskoenergetskih gradnji situacija obrnuta pa se za njih najviše isplati investicija u manje sustave, no samo kao alternativa električnoj energiji kao energentu kroz duži period (11+ godina). Rezultati su pokazali da spram plina, period povrata investicije sunčanog sustava uglavnom premašuje njegov prosječni životni vijek, pa se sa trenutačnom situacijom na tržištu još uvijek ne isplati ugradnja solarnog sustava u niskoenergetske građevine.

7. LITERATURA

1. http://en.wikiquote.org/wiki/Thomas_Edison
2. http://hr.wikipedia.org/wiki/Sunceva_energija
3. EUROPEAN STANDARD EN 15316-4-3: *Heating systems in buildings – Method for calculation of system efficiencies – Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar systems*, Brussels 2007
4. Duffie, J., Beckman, W.: *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley-Interscience ed., 1991
5. <http://www.gradimo.hr/Plavo-zlato-poskupljuje-sve-vise/hr-HR/12350.aspx>
6. <http://www.heureka-os.hr/index.php?l=potrosnja1>
7. <http://sunbird.jrc.it/pvgis>
8. <http://www.hep.hr/ods/kupci/tarifni.aspx>
9. <http://energetika-net.hr/skola/plin/plinsko-gospodarstvo/cijene-plina>